



TITLE:

# Observational studies on solar-type superflare stars( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Notsu, Yuta

---

CITATION:

Notsu, Yuta. Observational studies on solar-type superflare stars. 京都大学, 2019, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21575>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-01に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博 士 ( 理 学 )	氏名	野津 湧太			
論文題目	Observational studies on solar-type superflare stars (太陽型スーパーフレア星の観測的研究)					
(論文内容の要旨)						
<p>太陽フレアは太陽表面での爆発現象であり、黒点近傍の磁場エネルギーの突発的解放現象と考えられている。近接連星や自転の速い若い星では、「スーパーフレア」(最大級の太陽フレア(<math>\sim 10^{32}\text{erg}</math>)の10倍以上の巨大フレア)が多数発生している事が知られてきた。一方、太陽は年をとり自転も遅いので、磁気活動は穏やかで、スーパーフレアは起きないと考えられてきた。</p> <p>申請者らは、ケプラー宇宙望遠鏡の測光観測データから、太陽型(G型主系列)星においてスーパーフレア現象を多数発見し、その統計解析から自転の遅い太陽類似星でもスーパーフレアが発生する可能性を提起してきた。これら一連の研究では、ケプラーの測光データ中の準周期的な明るさ変動が、巨大黒点を持つ星の自転によって生じていると解釈して、自転周期や黒点面積の議論を行ってきた。しかし、これらの研究は測光観測のみに基づいた議論で、本当に明るさ変動が自転で説明可能か、自転の遅い単独の太陽類似星が本当にスーパーフレアを起こすのか、これらの問いの解明には、分光観測による詳細な分析が重要であった。</p> <p>2, 3 及び 4 章前半では、ケプラーで発見された太陽型スーパーフレア星のうち計 64 星について、すばる望遠鏡およびアパッチポイント天文台 3.5m 望遠鏡を用いた「高分散分光観測」を行い、その波長スペクトルの詳細な分析を行った。その結果、まず、64 星のうち 43 星は、連星系の証拠もなく、単独の太陽星と判定された。次に、吸収線のドップラー効果による広がり幅から星の自転速度を測定し、カルシウム線などの彩層由来のスペクトル線の強度から黒点面積の情報を推定した。その結果、自転速度及び黒点サイズに関して、ケプラーの結果(明るさ変動)と分光観測の結果が矛盾ないことが確認された。これにより、スーパーフレア星の示す明るさ変動が、巨大黒点を持った星の自転で説明できることが確実になった。</p> <p>続いて4章後半では、これまで発見したスーパーフレア星から、ガイア衛星による修正星半径データを用いて、ケプラーデータを用いたスーパーフレアの統計について再検討を行った。その結果、以前の結果と比べ、自転周期(<math>\sim</math>年齢)の増加とともに、フレアエネルギーの上限値が連続的に減少する傾向が見え始めた。一方、黒点面積の上限値について、自転が速い場合は概ね一定だが、自転周期約12日を超えると自転周期の増加とともに明確に減少すると分かった。ここでの、フレアエネルギーと黒点面積の自転周期に対する依存性の違いから、スーパーフレア発生過程で黒点面積以外の物理量(黒点の構造など)が影響している可能性が示唆された。そして、フレアと巨大黒点の発生頻度について、太陽データと比較したところ、<math>10^{34}\text{erg}</math>を超えるスーパーフレアとそれに必要な太陽半球面積の数%に達する巨大黒点が、太陽類似星において、数千年に1回の頻度で発生することが示された。</p>						

5章では、ロサット衛星の全天サーベイで強いX線放射を示した、近傍の太陽型星50星について、岡山188cm望遠鏡を用いて高分散分光観測を実施し、その性質を調べた。フレア活動が活発な天体は、強いX線放射を示すと期待されるので、X線源と同定されている星の探査は、近傍のフレア星の詳細な探査につながると期待される。観測の結果、X線強度の強い星は、上記の彩層線で見ても、ケプラーのスーパーフレア星と同様に巨大黒点の存在が示唆された。

以上の研究から、数千年に一回の頻度で自転の遅い太陽類似星でも、スーパーフレアが生じることが測光観測及び分光観測の両面から支持された。そして、巨大黒点の存在がスーパーフレア発生の必要条件だと明らかになった。そして本研究は、5章で探査した近傍のスーパーフレア候補星等を活用し、巨大黒点の形成過程やスーパーフレア自体の分光観測など、より詳細な探査を行う重要性を提起している。

(論文審査の結果の要旨)

太陽表面で起きている爆発現象のことをフレアという。解放エネルギーが最大級( $\sim 10^{32}$ erg)のフレアが発生すると、強いX線やガンマ線、大量の放射線粒子、高速のプラズマ噴出流が発生し、それらが地球に到達すると、通信障害、人工衛星故障、停電、宇宙飛行士の放射線被ばくなどの災害が発生することが、近年判明してきており、最大級のフレアを超えるフレアが太陽で起こるかどうかが、起きるとすればどれくらいの頻度で発生するか、という問題が、太陽—地球系物理学(宇宙天気研究)、天文学の分野で世界的な関心事となっている。

これまでの天文観測から、自転速度の速い生まれたばかりの若い星や近接連星系中の恒星などでは、最大級の太陽フレアの10倍以上のエネルギーを解放するフレアがしばしば発生することが知られており、これらはスーパーフレアと呼ばれている。太陽は誕生後46億年もたっており、自転速度が遅くなっているため、スーパーフレアは起きない、というのが天文学の常識であった。

ところが、申請者を含む京都大学の研究グループは、2012年にケプラー宇宙望遠鏡の観測データの詳細解析から、太陽と同じくらいの自転速度の太陽型星でもスーパーフレアが起きていることを発見し、世界に衝撃を与えた。申請者らの初期研究結果によると、スーパーフレアを起こしている星は巨大な黒点を持っているらしいこと、その発生頻度は最大級の太陽フレアの100-1000倍のスーパーフレアの場合、数千年に一回程度であることなど明らかにした。しかし、これらの研究はケプラーの測光データのみに基づいた議論で、スーパーフレア星は、本当に自転の遅い単独の太陽型星なのかなど、分光観測による詳細な分析が必要であった。

そこで申請者はまず、すばる望遠鏡及び米国のアパッチポイント天文台の3.5m望遠鏡を用いた分光観測を精力的に進め、単独星であることが確認された43星については、ケプラーの測光観測の結果が分光観測の結果と矛盾ないことを確認した。これらの結果によって、自転の遅い太陽のような単独星でも、巨大黒点を持ち、スーパーフレアを起こし得るという描像が、より確かなものとなった。

一方、ケプラー宇宙望遠鏡で観測された恒星の基本データ(恒星半径など)は確立されたものではなく、スーパーフレアの統計解析のためにはより信頼できる恒星データが必要であった。近年、恒星の基本データを観測するガイア衛星の観測データが得られ公開されたので、申請者はガイア衛星による修正星半径データを用いて、スーパーフレアの統計について再検討を行った。その結果、従来の研究結果と比較して、最大フレアエネルギーが自転周期の増加(年齢)とともに減少することなど、新たな結果を提示した一方で、自転の遅い太陽類似星でも、数千年に1回のタイムスケールで最大級の太陽フレアの100倍以上の規模のスーパーフレアが起きうることをより確実にした。

5章では近傍の太陽型スーパーフレア星候補の観測に基づき、今後の詳細な将来の研究計画を提案しており、これは京大3.8mせいめい望遠鏡を用いた重要研究課題の一つとなるもので、今後の研究の発展も大いに期待をもたせるものである。

以上をまとめると、申請者の研究は、ケプラーの測光観測データで提起されてきた知見に対して、分光観測等による検証を組合せることで、太陽型星におけるスーパーフレアや巨大黒点の性質、そして太陽でのスーパーフレア発生可能性の理解の進展に大きく寄与した。

本研究の結果は、年齢に伴うフレア活動性の進化や惑星への影響等の観点でも重要であり、太陽・恒星物理学だけでなく、地球社会への影響(宇宙天気)、さらには宇宙生物学的な観点も含めて広く関連分野の進展に寄与するものである。

よって本申請論文は、博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これらに関連した研究分野について平成31年1月11日に口頭試問を行った。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降